

AN0002.1：EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 硬件设计注意事项



本应用注释详细介绍了 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备的硬件设计注意事项。如需了解 EFM32 和 EZR32 无线 MCU 系列 0 设备的硬件设计注意事项，请参考应用说明 [AN0002.0：EFM32 和 EZR32 无线 MCU 系列 0 硬件设计注意事项](#)。

具体主题涉及支持的电源配置、电源滤波注意事项、调试接口连接以及外部时钟源。

更多关于 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备中直流转换器的硬件设计和布局注意事项，请参考应用说明 [AN0948：EFM32 和 EFR32 系列 1 电源配置和 DC-DC](#)。

更多关于 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备无线电部分的硬件布局注意事项，请参考应用说明 [AN930.1：EFR32 系列 1 2.4 GHz 匹配指南](#), [AN933.1：EFR32 系列 1 最小 BOM](#) 和 [AN928.1：EFR32 系列 1 布局设计指南](#)。

内容要点

- 去耦电容器对确保设备电源的完整性有着至关重要的作用。
- 调试接口有两个通信引脚（SWCLK 和 SWDIO）。
- 为确保正常运行，外部时钟源必须与设备正确连接。

1. 设备兼容性

本应用说明支持多个设备系列，某些功能因设备不同而有所差异。

EFM32 系列 1 包括：

- EFM32 Jade Gecko (EFM32JG1/EFM32JG12)
- EFM32 Pearl Gecko (EFM32PG1/EFM32PG12)
- EFM32 Giant Gecko (EFM32GG11/EFM32GG12)
- EFM32 Tiny Gecko (EFM32TG11)

EFR32 无线 Gecko 系列 1 包括：

- EFR32 Blue Gecko (EFR32BG1/EFR32BG12/EFR32BG13/EFR32BG14)
- EFR32 Flex Gecko (EFR32FG1/EFR32FG12/EFR32FG13/EFR32FG14)
- EFR32 Mighty Gecko (EFR32MG1/EFR32MG12/EFR32MG13/EFR32MG14)

2. 电源概述

2.1 介绍

尽管 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备的平均电流消耗量非常低，对其进行适当的去耦依然很重要。因为所有数字电路均以与时钟边沿相对应的短脉冲汲取电流。特别是当几条 I/O 线路同时切换时，尽管平均电流消耗非常小，电源上的瞬态电流脉冲却可在几纳秒内达几百 mA。

这几种瞬态电流，如果要在高阻抗的供电线路上正常传导，必定会使电源电压产生极大噪音。为降低这种噪声，应使用去耦电容器在短时瞬变中补充电流。

2.2 去耦电容器

去耦电容器能够尽量缩短电源、MCU 以及地线之间的电流回路，以应对高频瞬变。因此，所有去耦电容器的安装位置都应该尽可能靠近其电源引脚、接地引脚和 PCB（印刷电路板）接地平面。

所有外部去耦电容器的额定工作温度范围都应当与应用环境的温度范围相吻合。例如，对于 -55°C 到 +85°C（支持标准温度范围的设备）或 -55°C 到 +125°C（支持扩展温度范围的设备）的温度范围来说，电容变化范围在 ±15% 内的 X5R 陶瓷电容器可能是合适的选择。

对于稳压器输出电容器（DECOPPLE、VREGSW 和 VREGO，如有），系统设计者需特别注意与温度和偏置电压有关的电容器特性。若超出温度范围或直流偏置电压升高，有些电容器（特别是较小尺寸封装或使用价格较低电介质的电容器）的电容值会大幅降低。任何会使稳压器输出电容超出数据表限定范围的变化都有可能造成此次供电输出不稳定。

2.3 电源要求

对所有设备来说，电源引脚之间的电压要求和依赖关系都是需要高度重视的注意事项。无论采用哪种电源配置或拓扑结构，系统设计者都需确保能够达到这些电源要求。请参阅设备数据表，了解最大绝对额定值以及关于系统电压限制的更多详细信息。

EFM32 系列 1 电源要求

- $V_{REGVDD} = AVDD$ （必须是系统最高电压）
- $V_{REGVDD} \geq DVDD$
- $V_{REGVDD} \geq IOVDD$
- $DVDD \geq DECOPPLE$

EFR32 无线 Gecko 系列 1 电源要求

- $V_{REGVDD} = AVDD$ （必须是系统最高电压）
- $V_{REGVDD} \geq DVDD$
- $V_{REGVDD} \geq PAVDD$ （对于 2.4GHz 或双频带设备，PAVDD 指设备引脚；对于 1 GHz 以下设备，PAVDD 指功率放大器外部供电）
- $V_{REGVDD} \geq RFVDD$
- $V_{REGVDD} \geq IOVDD$
- $DVDD \geq DECOPPLE$

电源引脚概览

请注意，并不是所有设备上都存在所有电源引脚。下表为可用电源引脚概览。

Table 2.1. Power Supply Pin Overview

Pin Name	Product Family	Description
AVDD	All devices	Supply to analog peripherals
DECUPLE	All devices	Output of the internal digital LDO
IOVDD	All devices	GPIO supply voltage
VBUS	All USB-enabled devices	Primary input to the internal 3.3 V LDO, and the USB 5 V sense input. Can be connected to the USB 5 V supply. If unused, may be left floating (a weak internal pull-down will ensure the pin remains at ground).
VREGI	All USB-enabled devices	Secondary input to the internal 3.3 V LDO. Typically connected to the USB 5 V supply. If unused, may be left floating (a weak internal pull-down will ensure the pin remains at ground).
VREGO	All USB-enabled devices	Output of the internal 3.3 V LDO
VREGVDD	All devices	Input to the DC-DC converter
VREGSW	All devices	DC-DC powertrain switching node
VREGVSS	All devices	DC-DC ground
DVDD	All devices	DC-DC feedback node and input to the internal digital LDO
RFVDD	EFR32 无线 Gecko 系列 1 only	Supply to radio analog and HFXO
PAVDD	EFR32 无线 Gecko 系列 1 only	Supply to 2.4 GHz radio power amplifier

2.4 DECUPLE

所有 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备中都包含一个内部线性稳压器，为内核和数字逻辑供电。DECUPLE 引脚是数字 LDO 的输出脚，并且需要安装容量为 $1 \mu\text{F}$ 的电容器。

EFM32xG1 和 EFR32xG1 DECUPLE 引脚

在 EFM32xG1 和 EFR32xG1 设备上，数字 LDO 的输入脚是 DVDD 引脚，而 DECUPLE 引脚是 LDO 的输出脚。

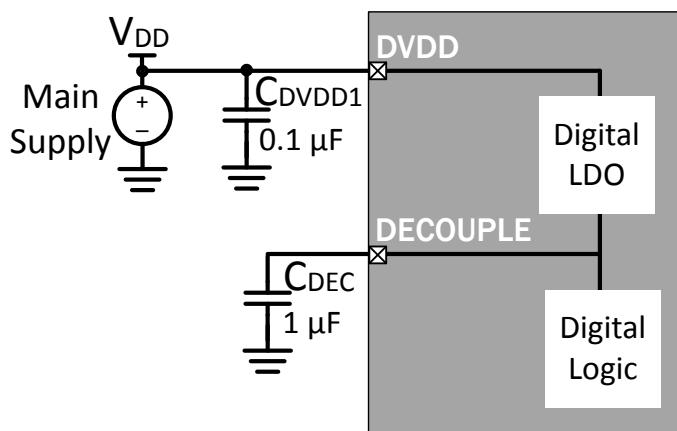


Figure 2.1. EFM32xG1 和 EFR32xG1 设备上的 DVDD 和 DECUPLE

EFM32xG11/12 和 EFR32xG12/13/14 DECOUPLE 引脚

在 EFM32xG11/12 和 EFR32xG12/13/14 设备上，数字 LDO 的输入脚是 AVDD 引脚（默认为加电方式）或 DVDD 引脚。DECOUPLE 引脚是 LDO 的输出脚。请注意，当由 AVDD 引脚供电时，数字 LDO 电流限定在 20 mA 之内。启动后，固件应配置 EMU_PWRCTRL_REGPWRSEL，从而通过 DVDD 为数字 LDO 供电。

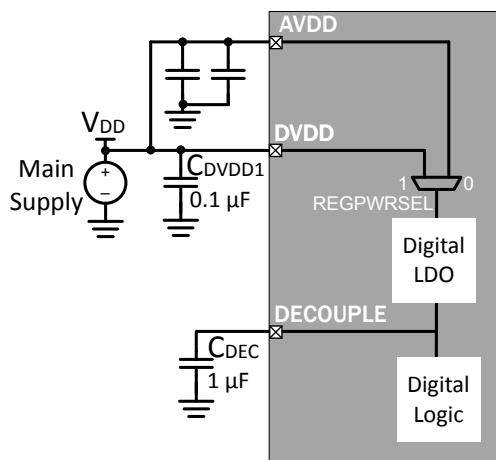


Figure 2.2. EFM32xG11/12 和 EFR32xG12/13/14 设备上的 DVDD 和 DECOUPLE

2.5 IOVDD

IOVDD 引脚为设备上所有 GPIO 引脚提供去耦。建议在每个 IOVDD 引脚上分配一个容量为 0.1 μF 的电容器和一个容量为 10 μF 的大容量电容器。如果同一电源中已有其他大容量电容器，可适当降低前述大容量电容器的电容量（例如，如果 IOVDD=AVDD=系统主电源，且主电源已有多个容量为 10 μF 的电容器）。

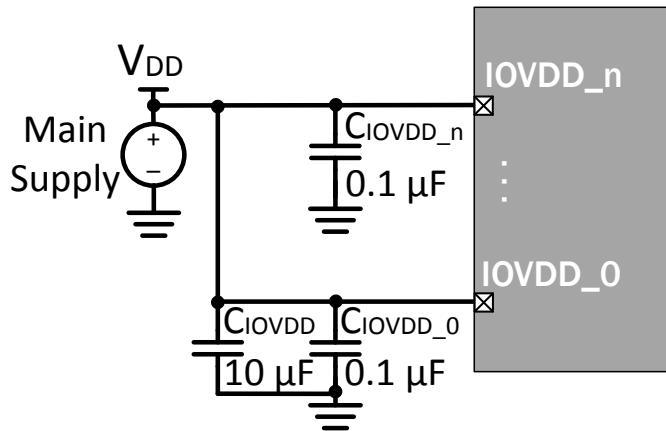


Figure 2.3. IOVDD 去耦

Note: IOVDD 不应由 EFM32xG11/12 和 EFR32xG12/13/14 设备上的直流转换器供电。复位时，直流转换器默认进入未配置安全状态，同时其输出悬空，以使连接电路保持未通电状态，直至固件进行必要的配置。出厂时，空白设备会运行引导装载程序，在尝试通过 BOOT_RX 和 BOOT_TX 引脚与主机通信时会失败（无 IOVDD 电源）。在此情况下，使用调试接口 (DBG_SWCLKTCK 和 DBG_SWDIOTMS) 进行初始固件下载同样也会失败。

2.6 AVDD

设备的模拟外围设备性能会受 AVDD 电源质量的影响。对模拟性能要求较低的应用，可使用去耦方式更简单的 AVDD。对模拟性能要求极高的应用，则需采用更强大的去耦和滤波。

请注意，不同设备和封装中的 AVDD 模拟电源引脚数量可能有所不同。

2.6.1 AVDD 标准去耦

下图介绍了对 AVDD 引脚进行去耦的标准方法。一般而言，一个 $10 \mu\text{F}$ 大容量电容器 (C_{AVDD}) 以及一个适用于每个 AVDD 引脚的 10nF 电容器 (C_{AVDD_0} 至 C_{AVDD_N}) 必须提供。

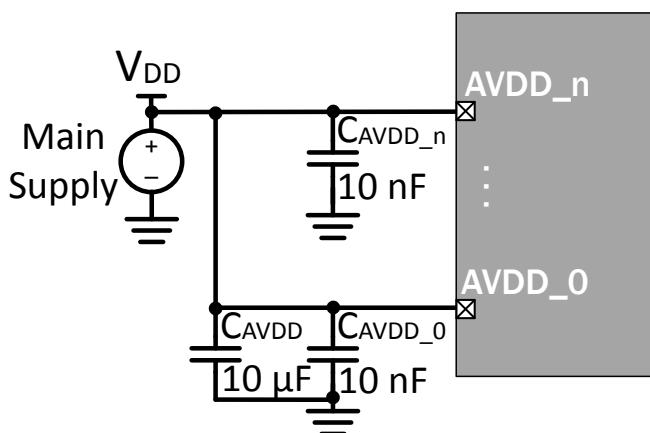


Figure 2.4. AVDD 标准去耦

2.6.2 AVDD 改良去耦

下图介绍了对 AVDD 引脚进行去耦和滤波的改良方法。一般而言，一个 $10 \mu\text{F}$ 大容量电容器 (C_{AVDD}) 以及一个适用于每个 AVDD 引脚的 10nF 电容器 (C_{AVDD_0} 至 C_{AVDD_N}) 必须提供。此外，一个铁氧体磁珠串联 1Ω 电阻可提供额外的电源滤波和隔离。

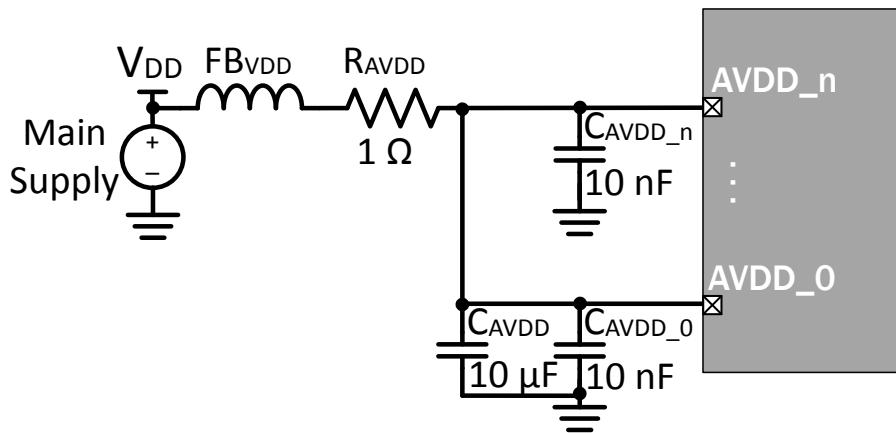


Figure 2.5. AVDD 改良去耦

下表列出了推荐用于 AVDD 滤波的一些铁氧体磁珠部件编号。

Table 2.2. Recommended Ferrite Beads

Manufacturer	Part Number	Impedance	I _{MAX} (mA)	DCR (Ω)	Operating Temperature (°C)	Package
Würth Electronics	74279266	1 kΩ @ 100 MHz	200	0.600	-55 to +125	0603/1608
Murata	BLM21BD102SN1D	1 kΩ @ 100 MHz	200	0.400	-55 to +125	0805/2012

2.7 USB (VREGI 和 VREGO)

一些 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备集成了 USB 控制器和 3.3 V LDO。电源去耦以及信号和控制信号在第 6. USB 节有所探讨。

2.8 DC-DC

某些 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备提供芯片上直流转换器，可用于提高电源效率。但是，直流转换器输出 (V_{DCDC}) 上存在额外的开关噪声，必须使用特定滤波组件。

2.8.1 DC-DC — 未使用

未使用直流转换器时，DVDD 引脚应该短接至 VREGVDD 引脚。VREGSW 必须悬空，VREGVSS 应该接地。

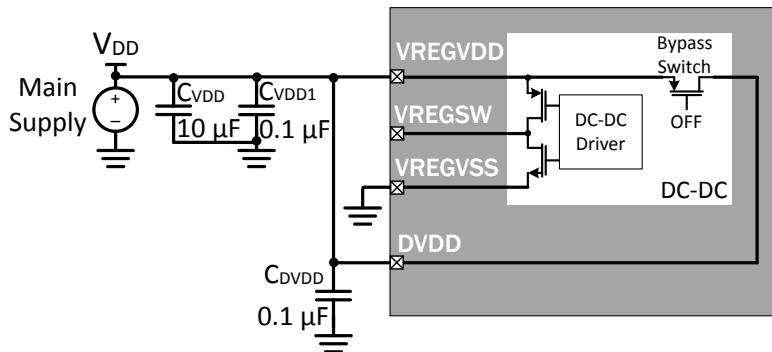


Figure 2.6. 未使用直流转换器时的配置

2.8.2 DC-DC — 为 DVDD 供电

如下图所示，对于能耗最低的应用，直流转换器可以为 DVDD 供电（也可在 EFR32 无线 Gecko 系列 1 中为 RFVDD 和 PAVDD 供电）。在这种配置中，DC-DC 输出 (V_{DCDC}) 与 DVDD 连接。DVDD 引脚除了是直流转换器的反馈路径，也为内部数字 LDO 供电，而内部数字 LDO 为数字电路供电。

系统设计者需特别注意与温度和偏置电压有关的 DC-DC 输出电容器 (C_{DCDC}) 特性。若温度变化或直流偏置电压升高，有些电容器（特别是较小尺寸封装或使用价格较低电介质的电容器）的额定电容会大幅降低。任何会使 DC-DC 输出电容超出数据表限定范围的变化都有可能造成此次供电输出不稳定。

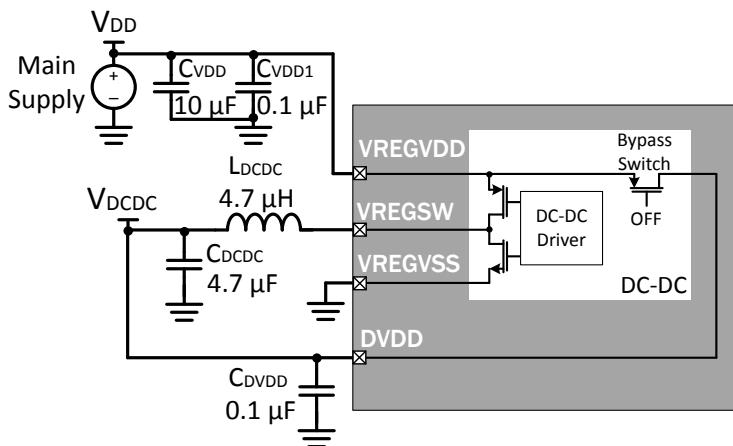


Figure 2.7. 直流转换器为 DVDD 供电

Note: 在本应用说明的几个之前修订版本中， C_{DCDC} 为 $1.0 \mu F$ 。尽管 $1.0 \mu F$ 仍可使用，但 $4.7 \mu F$ 是现今新设计最为推荐使用的，原因在于其在动态负载条件下和模式切换时的性能有所提升。Silicon Labs EFR32xG1 参考无线电板仍使用 $1.0 \mu F$ ；因此 EFR32xG1 软件默认使用 $1.0 \mu F$ （使用 `emuDcdcLnCompCtrl_1u0F` 而非 `emuDcdcLnCompCtrl_4u7F`）。如欲在 EFR32xG1 上使用 $4.7 \mu F$ ，需要修改低噪声模式补偿器控制的 `emuDcdcLnCompCtrl` 值。对于 EFR32xG12 及后续版本，参考无线电板的硬件和软件均默认使用 $4.7 \mu F$ 。

2.9 无线电 (RFVDD 和 PAVDD) — EFR32 无线 Gecko 系列 1

在 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备中，无线电电源 (PAVDD 和 RFVDD) 通常有以下两种供电来源：

1. 集成直流转换器。此选项提供了提高的电源效率，但最大发射功率限制为 13 dBm 。直流转换器输出 (V_{DCDC}) 上存在额外的开关噪声，必须使用特定滤波组件。
2. 单线电源。此选项的效率较低，但允许更简单的滤波并支持要求传输功率超过 13 dBm 的系统。

2.9.1 RFVDD 和 PAVDD — 由 DC-DC 供电

为实现能耗最低的操作，RFVDD 和 PAVDD 可以由直流转换器输出 (V_{DCDC}) 来供电。但请注意，当 PAVDD 由 V_{DCDC} 供电时，最大发射功率将被限制在 13 dBm。如需更高功率，PAVDD 必须由干线电源供电，而非 DC-DC 输出。

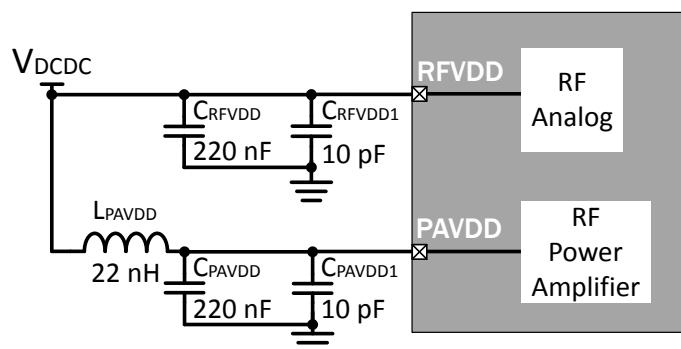


Figure 2.8. RFVDD 和 PAVDD 去耦 (2.4 GHz 应用，均由 DC-DC 输出供电)

最小的 BOM 选项中去除了 C_{RFVDD1} 和 C_{PAVDD1} ，使其在更低的功率级别下也能获得可接受的 RF 性能。更多关于最小 BOM 选项的完整详情，以及性能比较，请参考 [AN933.1: EFR32 系列 1 最小 BOM](#)。

Table 2.3. RFVDD & PAVDD Decoupling Values, Powered from DC-DC Converter

Application	C_{RFVDD}	C_{RFVDD1}	L_{PAVDD}	C_{PAVDD}	C_{PAVDD1}
2.4 GHz	220 nF	10 pF	22 nH	220 nF	10 pF
2.4 GHz (minimal BOM)	220 nF	-	22 nH	220 nF	-
sub-GHz	220 nF	56 - 270 pF	100 - 270 nH	220 nF	56 - 270 pF
sub-GHz (minimal BOM)	220 nF	-	100 - 270 nH	220 nF	-

Table 2.4. Recommended L_{PAVDD} 22 nH Inductor

Manufacturer	Part Number	Inductance (nH)	I_{MAX} (mA)	DCR (Ω)	Operating Temperature ($^{\circ}C$)	Package
Murata	LQG15HS22NJ02D	$22 \pm 5\%$	300	0.420	-55 to +125	0402/1005

2.9.2 RFVDD 和 PAVDD — 由干线电源供电

当需要大于 13dBm 的发射功率时, PAVDD 应直接由干线电源供电, RFVDD 可以由干线电源或 DC-DC 输出 (V_{DCDC}) 供电。注意在此配置中, L_{PAVDD} 滤波电感未在 PAVDD 输入中显示, 因为我们已假定干线电源中的噪声没有 V_{DCDC} 大。

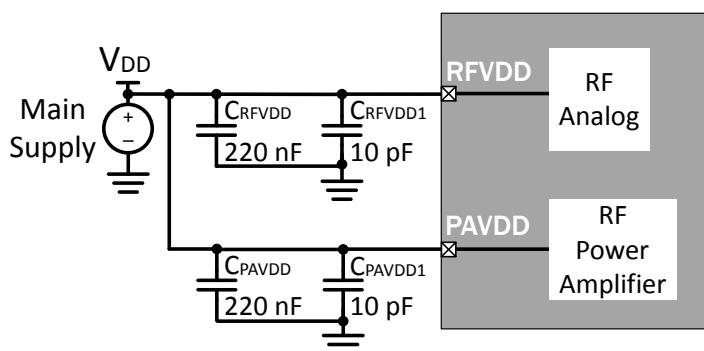


Figure 2.9. RFVDD 和 PAVDD 去耦 (2.4 GHz 应用, 均由干线电源供电)

最小的 BOM 选项中去除了 C_{RFVDD1} 和 C_{PAVDD1} , 使其在更低的功率级别下也能获得可接受的 RF 性能。更多关于最小 BOM 选项的完整详情, 以及性能比较, 请参考 [AN933.1: EFR32 系列 1 最小 BOM](#)。

Table 2.5. RFVDD & PAVDD Decoupling Values, Powered from Main Supply

Application	C_{RFVDD}	C_{RFVDD1}	L_{PAVDD}	C_{PAVDD}	C_{PAVDD1}
2.4 GHz	220 nF	10 pF	—	220 nF	10 pF
2.4 GHz (minimal BOM)	220 nF	—	—	220 nF	—
sub-GHz	220 nF	56 - 270 pF	—	220 nF	56 - 270 pF
sub-GHz (minimal BOM)	220 nF	—	—	220 nF	—

3. 供电连接配置示例

3.1 POR 后的 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 配置

3.1.1 EFM32xG1 和 EFR32xG1 启动配置

在加电复位 (POR) 中, EFM32xG1 和 EFR32xG1 设备在安全的启动配置中启动, 此启动配置支持所有可用电源配置。

在启动配置中:

- 直流转换器旁路开关处于开启状态（即 VREGVDD 引脚内部短接到 DVDD 引脚）。
- 模拟功能块由 AVDD 电源引脚进行供电 (EMU_PWRCTRL_ANASW = 0)。

加电后, 固件可根据外部硬件配置对此设备进行配置。

Note: Figure 3.1 EFM32xG1 和 EFR32xG1 启动配置 on page 10 仅供说明设备启动时的默认电源配置; 不能被作为可用的应用配置。

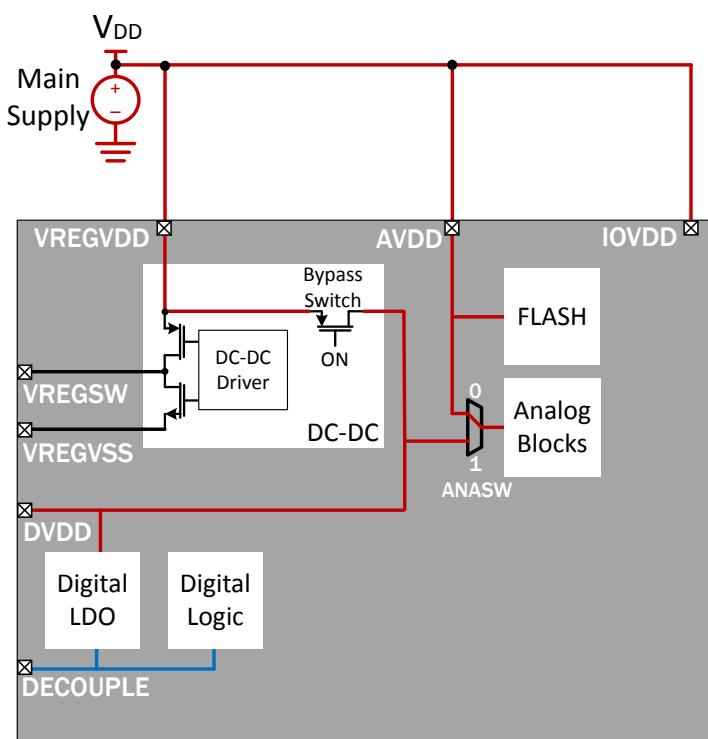


Figure 3.1. EFM32xG1 和 EFR32xG1 启动配置

3.1.2 EFM32xG11/12 和 EFR32xG12/13/14 未安装的配置

加电复位 (POR) 或 EM4 关机 (EM4S) 时, EFM32xG11/12 和 EFR32xG12/13/14 设备可在安全状态下进行配置, 此状态支持所有可用电源配置。

在此未配置/配置的状态下:

- 直流转换器旁路开关处于关闭状态。
- 内部数字 LDO 由 AVDD 引脚进行供电 (EMU_PWRCTRL_REGPWRSEL = 0)。请注意, 当 REGPWRSEL = 0 时, 可允许的流入 LDO 的最大电流为 20 mA。因此, 固件必须在启动后立即设置 REGPWRSEL = 1, 以此通过 DVDD 为数字 LDO 供电。
- 模拟功能块由 AVDD 电源引脚进行供电 (EMU_PWRCTRL_ANASW = 0)。

加电后, 固件可根据外部硬件配置对此设备进行配置。

Note: Figure 3.2 EFM32xG11/12 和 EFR32xG12/13/14 未安装的配置 on page 11 仅供说明设备启动时的默认电源配置; 不能被作为可用的应用配置。

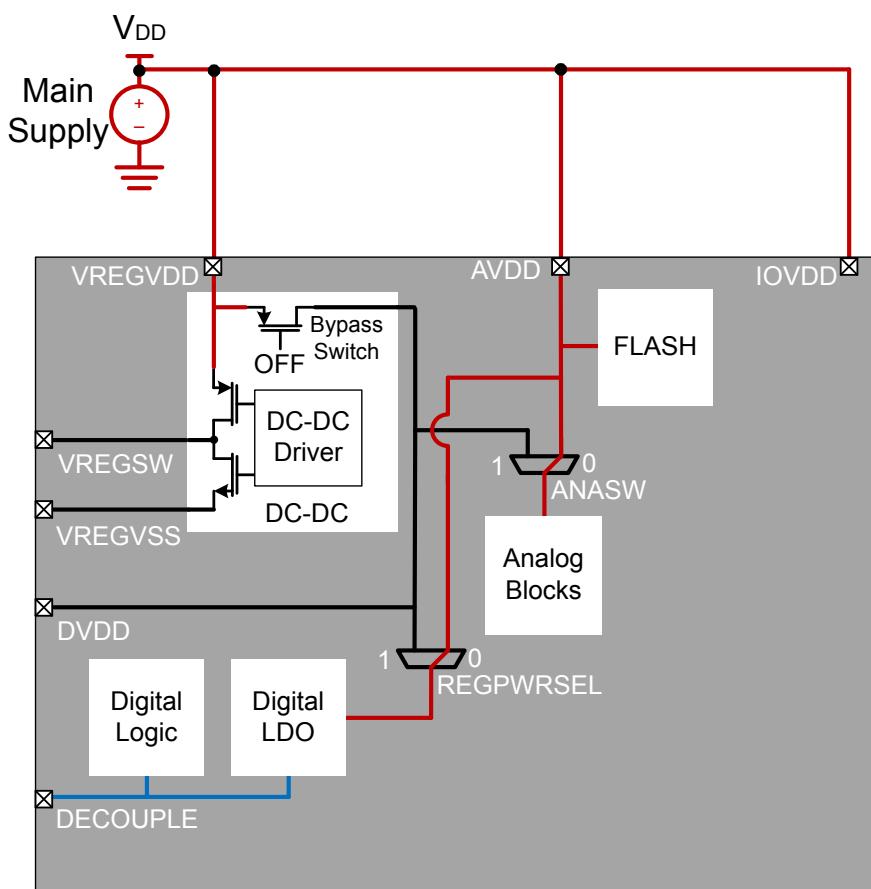
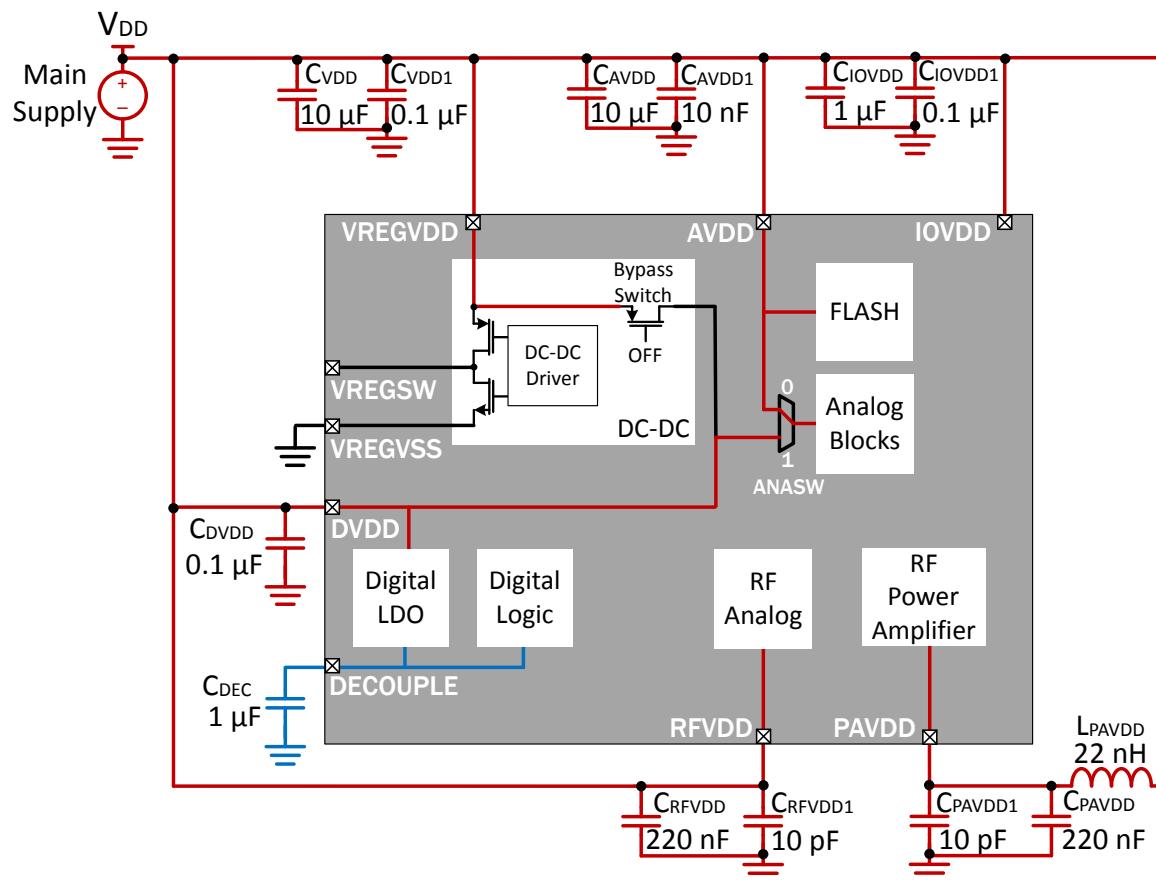


Figure 3.2. EFM32xG11/12 和 EFR32xG12/13/14 未安装的配置

3.2 EFR32 无线 Gecko 系列 1 — 无 DC-DC、2.4 GHz、 ≤ 13 dBm 示例

对于对空间和成本要求较高的应用，或不考虑电源效率因素的情况下，可以不使用直流转换器。此配置中：

- 直流转换器被设定为关闭模式，且旁路开关也处于关闭模式。
- DVDD 引脚必须由外部供电；通常来说，该引脚被短接至干线电源。
- DVDD 为内部数字 LDO 供电（即在 EFR32xG12/13/14 上，EMU_PWRCTRL_REGPWRSEL=1），后者为数字电路供电。
- 此外，RFVDD、PAVDD、IOVDD 和 AVDD 都与干线电源连接。
- VREGSW 已断开。

Figure 3.3. EFR32xG1 无 DC-DC、2.4 GHz、 ≤ 13 dBm 示例

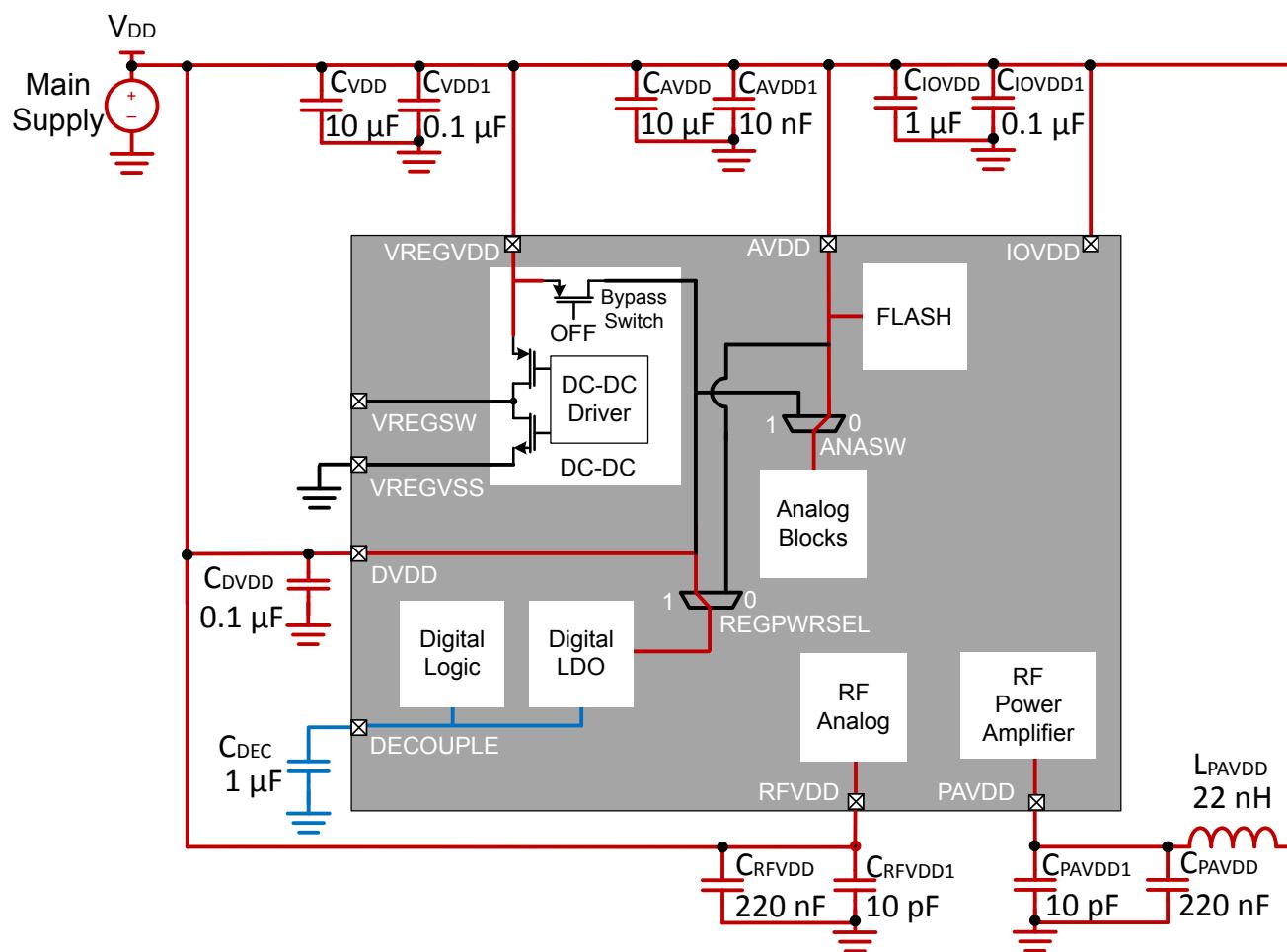


Figure 3.4. EFR32xG12/13/14 无 DC-DC、2.4 GHz、≤ 13 dBm 示例

3.3 EFR32 无线 Gecko 系列 1 — DC-DC、2.4 GHz、≤ 13 dBm 示例

EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 应用应使用直流转换器来最大程度地节省电能。除需要在每个电网上分配标准去耦电容器，直流转换器还需要一个外部电感和一个电容器。直流转换器操作、emlib 编程、推荐的 DC-DC 元件以及支持的电源配置等相关详细信息，请参考应用说明 [AN0948: EFM32 和 EFR32 系列 1 电源配置和 DC-DC](#)。

对于最低能耗的无线电应用，直流转换器可以为 DVDD 供电，也可以为 RFVDD 和 PAVDD 供电。此配置中：

- DC-DC 输出 (V_{DCDC}) 与 DVDD 连接，后者为内部数字 LDO 以及数字电路供电（在 EFR32xG12/13/14 上， $REGPWRSEL = 1$ ）。
- 无线电电源 (RFVDD 和 PAVDD) 均由 DC-DC 输出供电。
- AVDD 与干线电源连接。内部模拟功能块可能由 AVDD 或 DVDD 供电，取决于 EMU_PWRCTRL_ANASW 位的状态。闪存总是由 AVDD 供电。
- IOVDD 与干线电源连接，但是，如果如 [2.3 电源要求](#) 中所讨论的那样，只要 $VREGVDD \geq IOVDD$ ，则不需要连接。

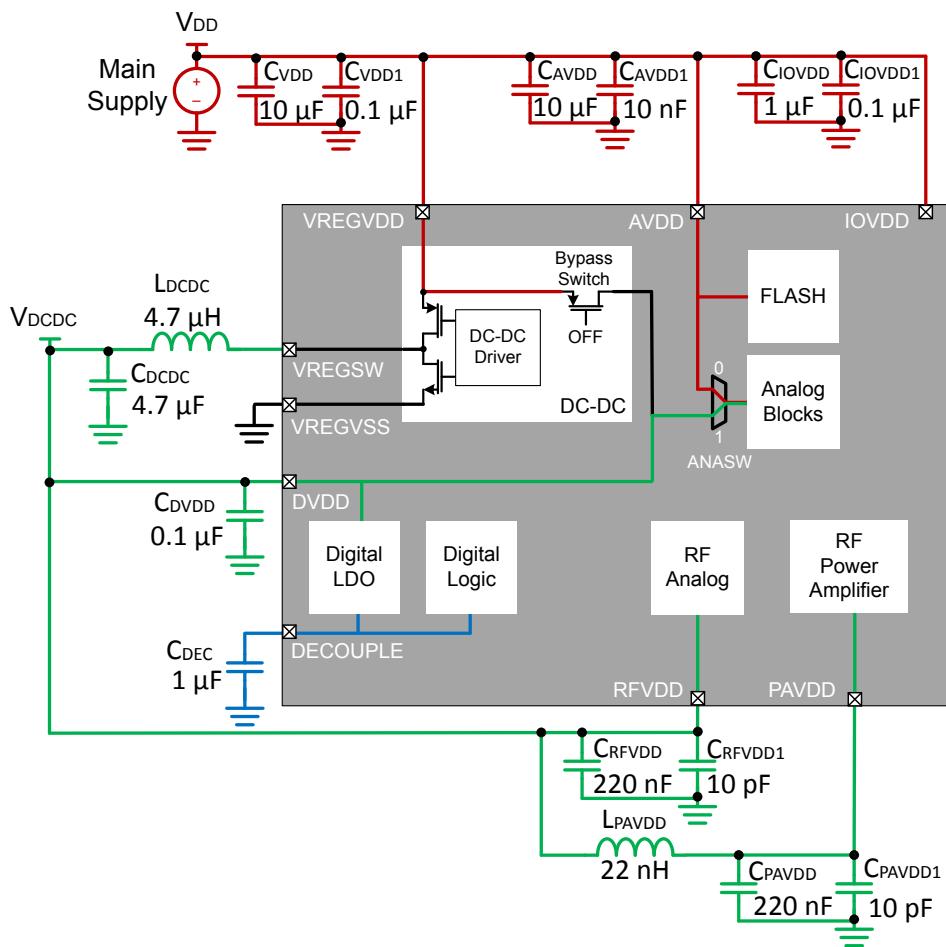


Figure 3.5. EFR32xG1 DC-DC、2.4 GHz、≤ 13 dBm 示例

Note: 在本应用说明的几个之前修订版本中， C_{DCDC} 为 $1.0 \mu F$ 。尽管 $1.0 \mu F$ 仍可使用，但 $4.7 \mu F$ 是现今新设计最为推荐使用的，原因在于其在动态负载条件下和模式切换时的性能有所提升。Silicon Labs EFR32xG1 参考无线电板仍使用 $1.0 \mu F$ ；因此 EFR32xG1 软件默认使用 $1.0 \mu F$ （使用 `emuDcdcLnCompCtrl_1u0F` 而非 `emuDcdcLnCompCtrl_4u7F`）。如欲在 EFR32xG1 上使用 $4.7 \mu F$ ，需要修改低噪声模式补偿器控制的 `emuDcdcLnCompCtrl` 值。对于 EFR32xG12 及后续版本，参考无线电板的硬件和软件均默认使用 $4.7 \mu F$ 。

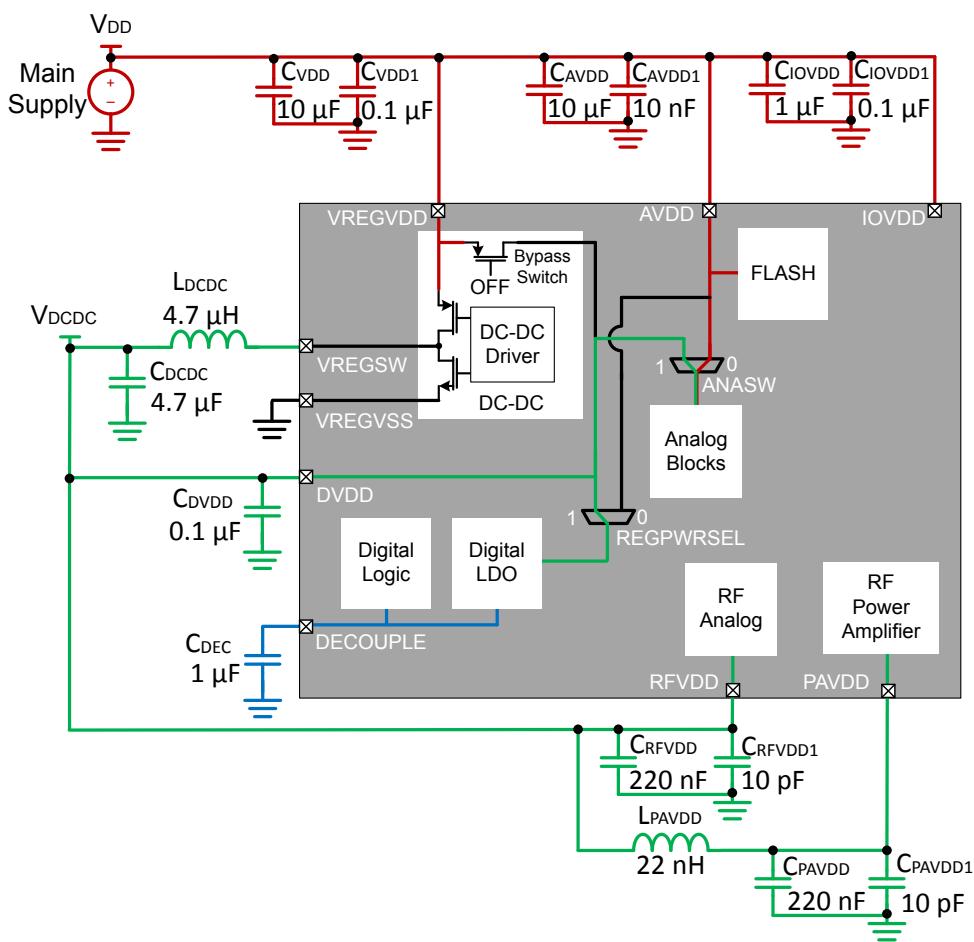


Figure 3.6. EFR32xG12/13/14 DC-DC、2.4 GHz、≤ 13 dBm 示例

3.4 EFR32 无线 Gecko 系列 1 — DC-DC、2.4 GHz、> 13 dBm 示例

EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 应用应使用直流转换器来最大程度地节省电能。除需要在每个电网上分配标准去耦电容器，直流转换器还需要一个外部电感和一个电容器。直流转换器操作、emlib 编程、推荐的 DC-DC 元件以及支持的电源配置等相关详细信息，请参考应用说明 [AN0948: EFM32 和 EFR32 系列 1 电源配置和 DC-DC](#)。

对无线电输出功率要求较高时 (>13 dBm)，PAVDD 必须与干线电源连接。DVDD 和 RFVDD 仍可由直流转换器输出供电。下图列示了这种配置。

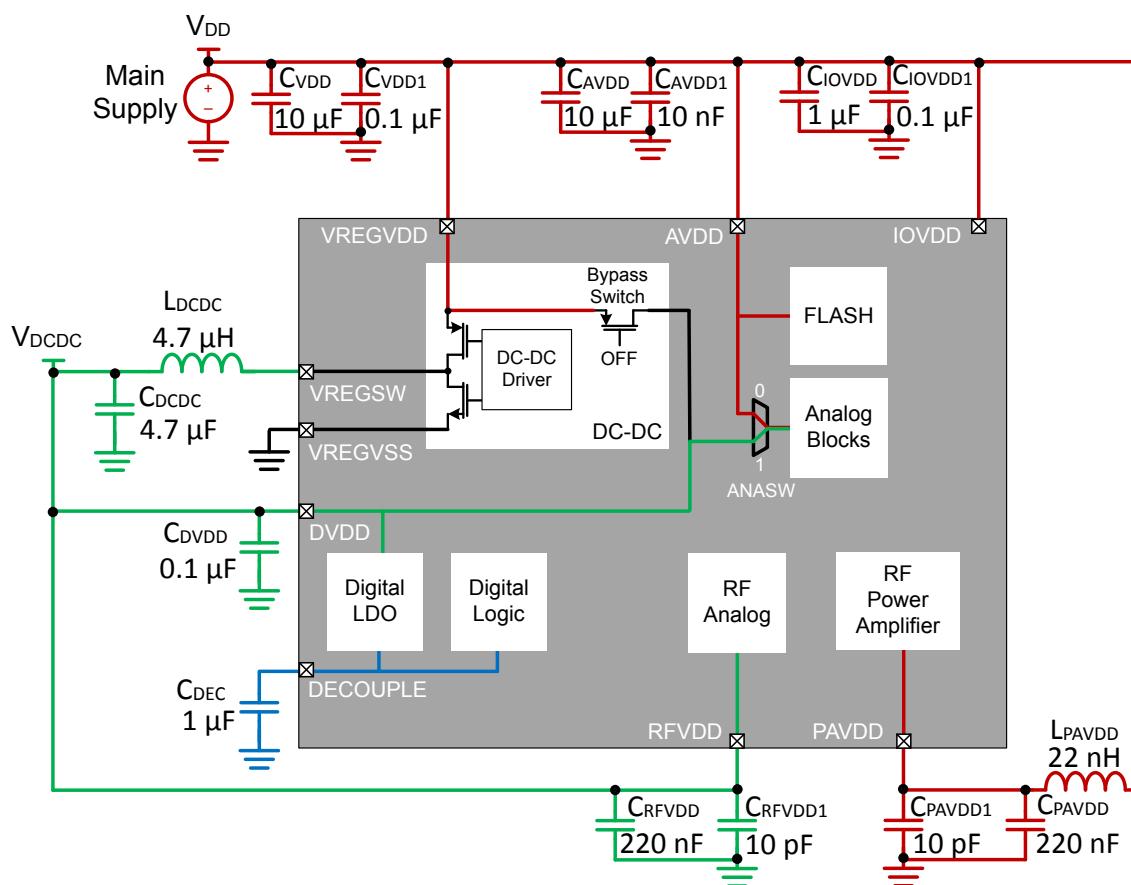


Figure 3.7. EFR32xG1 DC-DC、2.4 GHz、> 13 dBm 示例

Note: 在本应用说明的几个之前修订版本中， C_{DCDC} 为 $1.0 \mu F$ 。尽管 $1.0 \mu F$ 仍可使用，但 $4.7 \mu F$ 是现今新设计最为推荐使用的，原因在于其在动态负载条件下和模式切换时的性能有所提升。Silicon Labs EFR32xG1 参考无线电板仍使用 $1.0 \mu F$ ；因此 EFR32xG1 软件默认使用 $1.0 \mu F$ （使用 `emuDcdcLnCompCtrl_1u0F` 而非 `emuDcdcLnCompCtrl_4u7F`）。如欲在 EFR32xG1 上使用 $4.7 \mu F$ ，需要修改低噪声模式补偿器控制的 `emuDcdcLnCompCtrl` 值。对于 EFR32xG12 及后续版本，参考无线电板的硬件和软件均默认使用 $4.7 \mu F$ 。

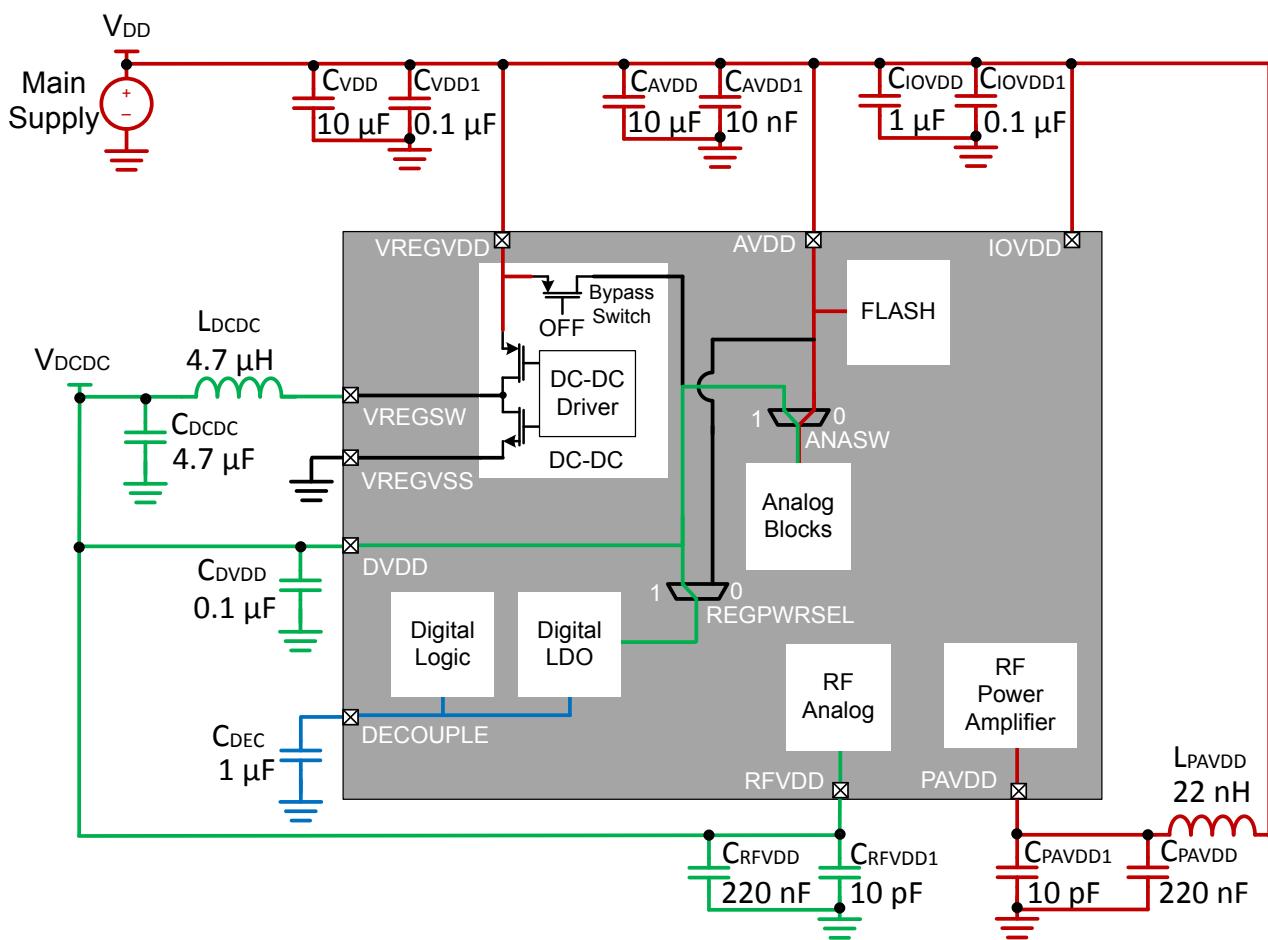


Figure 3.8. EFR32xG12/13/14 DC-DC、2.4 GHz、> 13 dBm 示例

3.5 EFM32 系列 1 — DC-DC 示例

下图是使用直流转换器的 EFM32 系列 1 设备的典型配置。

此配置中：

- DC-DC 输出 (V_{DCDC}) 与 DVDD 连接，后者为内部数字 LDO 以及数字电路供电（在 EFM32xG11/12 上， $REGPWRSEL = 1$ ）。
- AVDD 与干线电源连接。内部模拟功能块可能由 AVDD 或 DVDD 供电，取决于 $EMU_PWRCTRL_ANASW$ 位的状态。闪存总是由 AVDD 引脚供电。
- IOVDD 与干线电源连接，但是，如果如 [2.3 电源要求](#) 中所讨论的那样，只要 $VREGVDD \geq IOVDD$ ，则不需要连接。

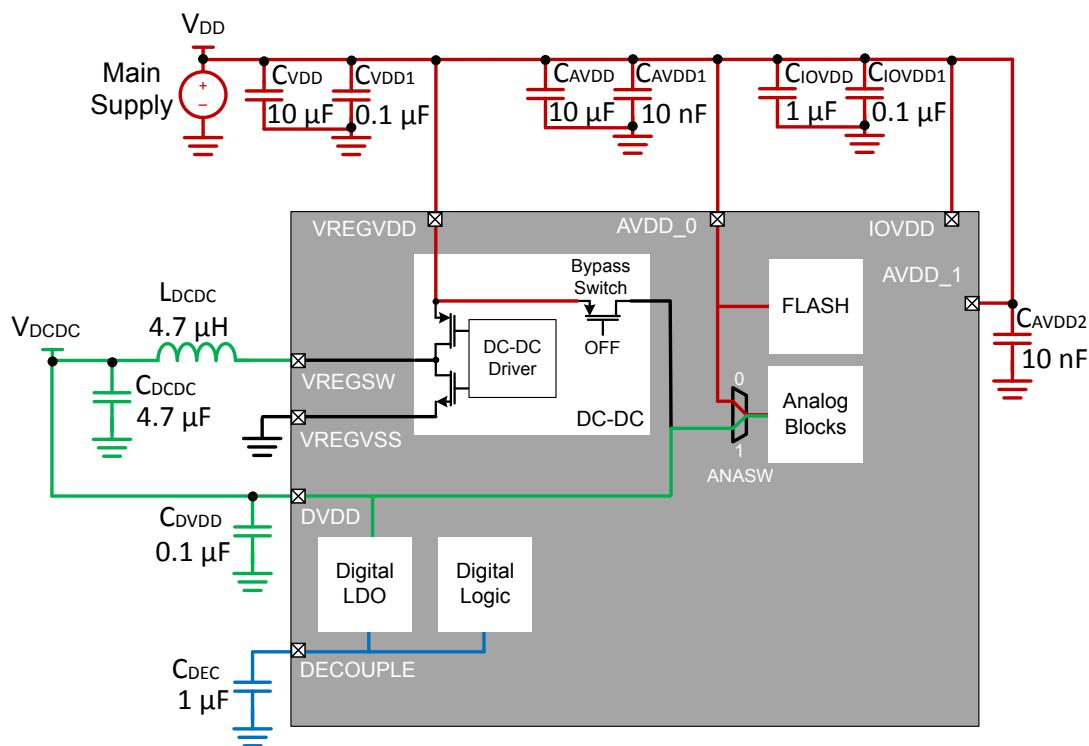


Figure 3.9. EFM32xG1 DC-DC 示例

Note: 在本应用说明的几个之前修订版本中， C_{DCDC} 为 $1.0 \mu F$ 。尽管 $1.0 \mu F$ 仍可使用，但 $4.7 \mu F$ 是现今新设计最为推荐使用的，原因在于其在动态负载条件下和模式切换时的性能有所提升。Silicon Labs EFM32PG1 入门套件板仍使用 $1.0 \mu F$ ；因此 EFM32xG1 软件默认使用 $1.0 \mu F$ （使用 `emuDcdcLnCompCtrl_1u0F` 而非 `emuDcdcLnCompCtrl_4u7F`）。如欲在 EFM32xG1 上使用 $4.7 \mu F$ ，需要修改低噪声模式补偿器控制的 `emuDcdcLnCompCtrl` 值。对于所有后续的 EFM32 设备，入门套件硬件和相应的软件均默认使用 $4.7 \mu F$ 。

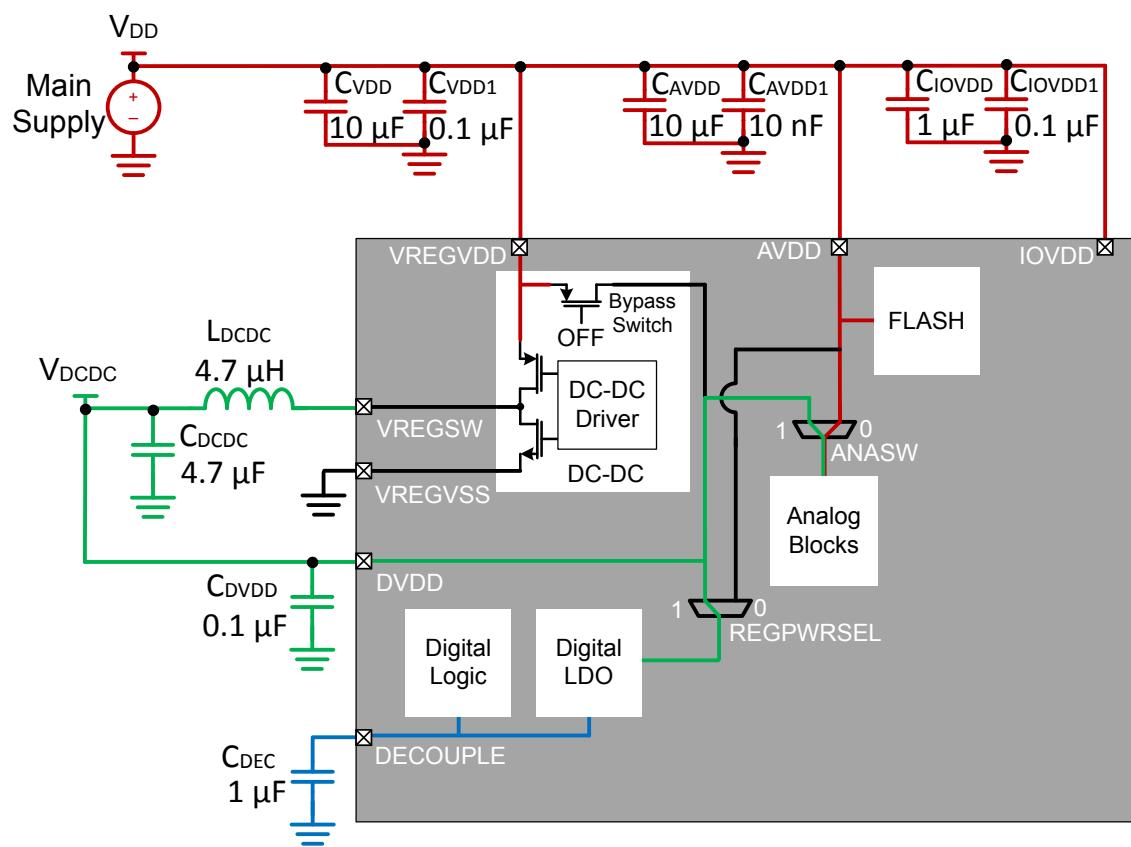


Figure 3.10. EFM32xG11/12 DC-DC 示例

4. 调试接口和外部复位引脚

4.1 串行线调试

所有 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备均支持串行线调试 (SWD) 接口，并且，除可选的 SWO (串行线输出) 外，SWD 接口还包括 SWCLK (时钟输入) 和 SWDIO (数据输入/输出) 线路。SWO 线路可用于仪表追踪和程序计数器采样，但闪存编程和正常调试并不需要此线路。然而，其在高级调试场景中十分有价值，因此强烈建议设计者将此线路与其他 SWD 信号一起包含在设计中。

与标准 ARM 20 引脚调试排针的连接如下图所示。未连接微控制器、电源或接地装置的引脚均不应连接。

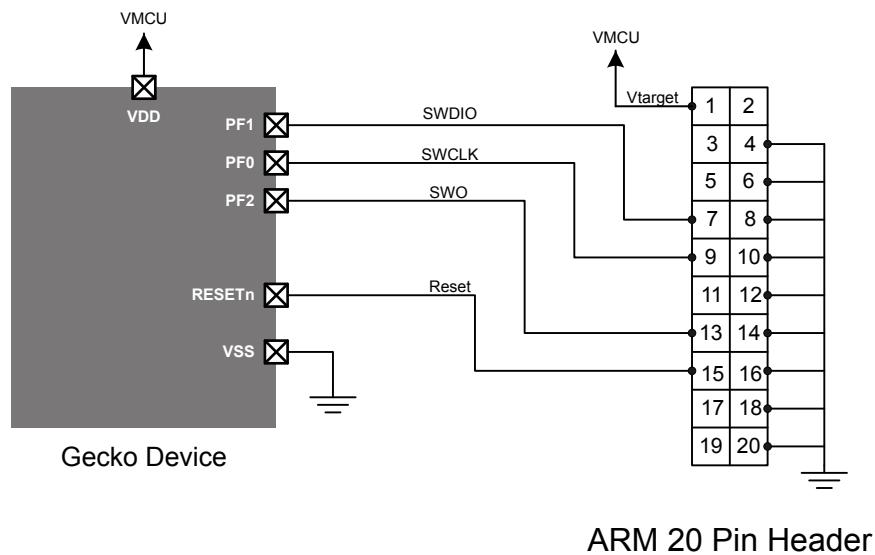


Figure 4.1. EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 SWD 连接至 ARM 20 引脚调试报头

Note:

1. V_{target} 连接不用于供电。调试器使用 V_{target} 作为其电平转换器的参考电压。
2. PF2 是 SWO 信号的默认位置，在任何封装上均邻近或非常靠近 PF0 (SWCLK) 和 PF1 (SWDIO)。SWO 可映射到其他特定的引脚。所涉及设备请参见数据表。

对于其他调试和编程接口，请参考应用说明《AN958：自定义设计的调试和编程接口》。

4.2 JTAG 调试

EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备可支持 JTAG 调试，使用的线路包括 TCK（时钟）、TDI（数据输入）、TDO（数据输出）和 TMS（输入模式选择）。TCK 是 JTAG 接口时钟。TDI 上携带输入数据，并在 TCK 的上升沿采样取得。TDO 上携带输出数据，在 TCK 的下降沿移出。最后，TMS 是输入模式选择信号，用于在测试访问端 (TAP) 状态机上导航。

Note: EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备上的 JTAG 实施并不支持边界扫描测试。它可以在直通模式下运行，并且能够加入不为固件编程或边界扫描目的而实施 JTAG 的其他设备的链环。

与 ARM 20 引脚调试连接器的连接如下图所示。没有连接的引脚默认不连接。

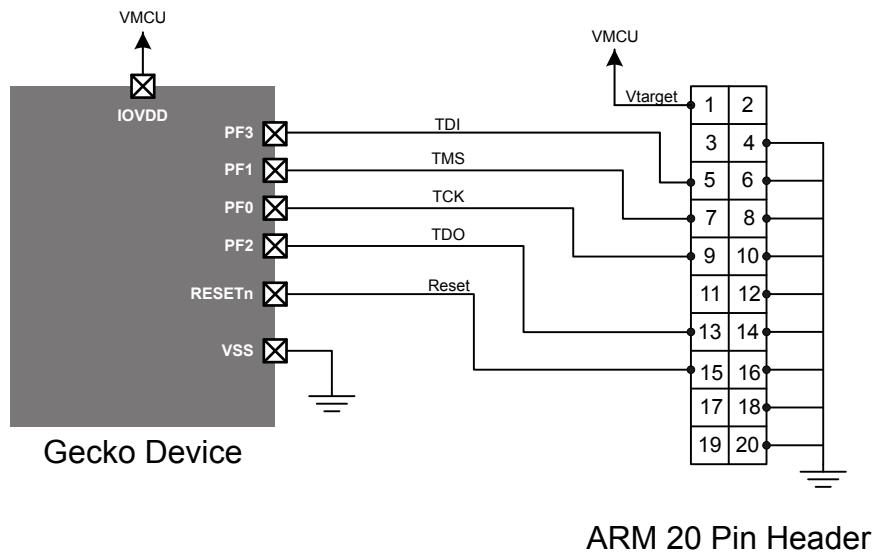


Figure 4.2. EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 JTAG 连接至 ARM 20 引脚调试报头

Note: V_{target} 连接不用于供电。调试器使用 V_{target} 作为其电平转换器的参考电压。

对于其他调试和编程接口，请参考应用说明《AN958：自定义设计的调试和编程接口》。

4.3 外部复位引脚 (RESETn)

EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 处理器的复位方法是将 RESETn 引脚调至低电位。弱内部上拉装置可将 RESETn 引脚保持在高电位，在不需要外部复位源的情况下可以不连接。与 RESETn 连接的还有低通滤波器，它可以避免噪声干扰造成意外复位。上拉装置和输入滤波器的特性与 GPIO 引脚上的相同，这在设备数据表中有详细说明。

Note: 内部上拉确保释放复位。当设备未通电时，RESETn 不能通过外部上拉连接至有源电源，或调至高电位，因为这可能会损坏设备。使用备用电源模式时这一点尤为重要。因为内部上拉装置会自动切换至备用电源轨，最终通过外部上拉连接至 RESETn，从而由备用电源为系统内的其他设备供电。

5. 外部时钟源

5.1 介绍

除内部 LF 和 HF RC 振荡器之外，EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备支持使用不同的外部时钟源来提供低频率和高频率的时钟。LF 和 HF 域的可能外部时钟源是晶体、陶瓷谐振器和外部振荡器（矩形波或正弦波）。此部分描述了如何连接外部时钟源。

有关外部振荡器的其他信息，请参考应用说明 [AN0016.1: 振荡器设计注意事项](#)。有关应用说明的信息，请访问 Silicon Labs 网站 (www.silabs.com/32bit-appnotes) 或进入 Simplicity Studio。

5.2 低频时钟源

外部低频时钟可由 晶体或陶瓷谐振器 或外部时钟源提供。

5.2.1 低频晶体

如下图所示，晶体已通过 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备上的 LFXTAL_N 和 LFXTAL_P 引脚连接。

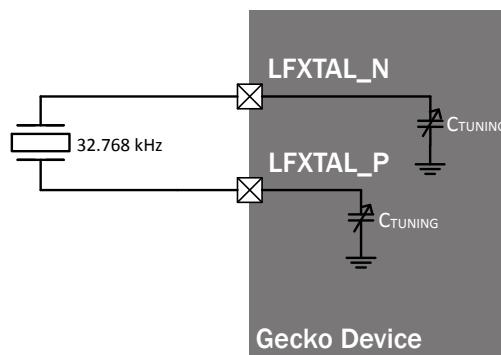


Figure 5.1. 低频晶体振荡器

连接至 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备的低频晶体不需要外部负载电容器，因为这些负载电容器被包括在芯片上，并且可以通过软件控制下的寄存器位字段进行调谐，从而降低 BOM 成本并节省 PCB 占位空间。EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 LFXO 支持 32.768 KHz 晶体。请查看具体设备的数据表，了解受支持的负载电容和 ESR 值，并参阅具体设备的参考手册，了解芯片上负载电容器和调谐说明。

5.2.2 低频外部时钟

EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备可从外部来源（如 TCXO 或 VCXO）获得低频时钟。要挑选合适的外部振荡器，考虑以下规格：频率、寿命、稳定性、电压灵敏度、上升和下降时间、占空比和信号电平。外部时钟信号既可以是矩形波也可以是正弦波，频率为 32.768 kHz。外部时钟源必须按照 [Figure 5.2 低频外部时钟 on page 22](#) 所示进行连接。

外部时钟源支持旁路和缓冲输入模式。可在 0 至 V_{IOVDD} 伏之间切换、具有 50% 占空比的 CMOS 矩形波可在 CMU_LFXOCTRL_MODE = DIGEXTCLK 时使用，它绕过 LFXO。外部正弦波源 (CMU_LFXOCTRL_MODE = BUFEEXTCLK) 具有最小和最大振幅 800 mV 和 1.2 伏，可与 LFXTAL_N 引脚串联连接，并且经过内部交流耦合处理。正弦波最小电压必须高于接地电压，最大电压小于 1.4 伏。

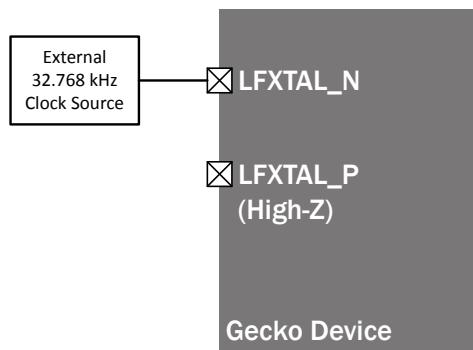


Figure 5.2. 低频外部时钟

5.3 高频时钟源

外部高频时钟可由 晶体或陶瓷谐振器 或外部时钟源提供。

5.3.1 低频晶体以及陶瓷谐振器

如 [Figure 5.3 高频晶体振荡器 on page 23](#) 中所示，晶体或陶瓷谐振器 已通过 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备上的 HFXTAL_N 和 HFXTAL_P 引脚连接。

EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备上不需要外部负载电容器。它们已被移动到芯片上并且可以通过软件控制下的寄存器位字段进行调谐，从而降低 BOM 成本并节省 PCB 占用空间。查看具体设备的数据表，了解受支持的晶体频率范围、负载电容调谐和 ESR 值。特别是，在使用芯片上无线电及其相关协议堆栈时，具体晶体频率是必要的；明确不支持其他值的使用。

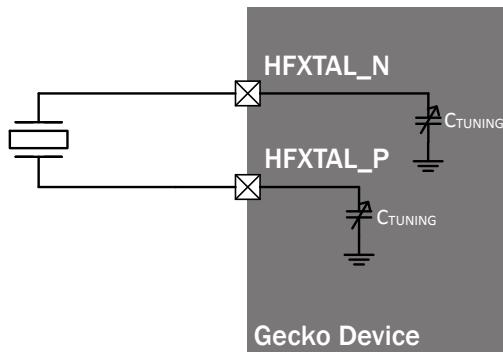


Figure 5.3. 高频晶体振荡器

5.3.2 高频外部时钟

EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备可从外部来源（如 TCXO 或 VCXO）获得低频时钟。要挑选合适的外部振荡器，考虑以下规格：频率、寿命、稳定性、电压灵敏度、上升和下降时间、占空比和信号电平。外部时钟信号可以是矩形波，也可以是正弦波，频率要符合设备数据表。外部时钟源必须按照 [Figure 5.4 外部高频时钟 on page 23](#) 所示进行连接。

与 LFXO 不同，其具有缓冲或数字外部时钟的特定模式，某些 EFM32 和 EFR32 无线 Gecko 系列 1 设备具有更多有限的高频时钟输入选项。在所有此类设备上，具有最小和最大振幅 800 mV 和 1.2 V 的外部缓存正弦波可与 HFXTAL_N 引脚并联连接。正弦波最小电压必须高于接地电压，最大电压小于 1.4 V。请参考各设备的数据表和参考手册，了解采购高频时钟时适用的具体选项和限制。

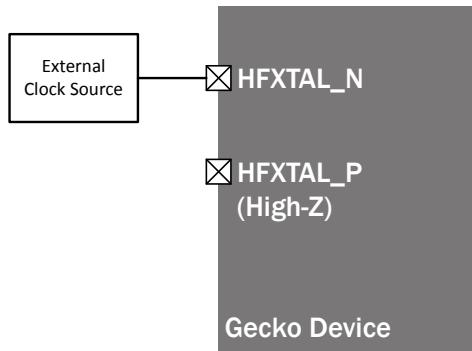


Figure 5.4. 外部高频时钟

6. USB

一些 EFM32 系列 1 设备集成了 USB 控制器和 3.3V LDO。后续章节说明了若干不同配置，用于 USB 电源去耦以及连接总线和控制信号。

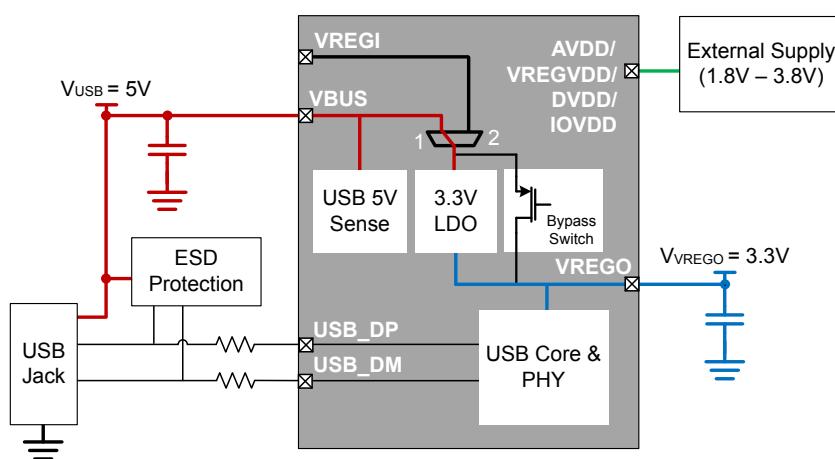
为避免违反 USB 的规格， V_{USB} 总电容不得超过 $10 \mu F$ 。请参阅《AN0046: USB 硬件设计指南》中对 USB 应用的详细硬件指导。

6.1 USB 自供电

在典型的 EFM32 系列 1 自供电 USB 设备应用中，其内部的 3.3 V LDO 仅可以为 PHY 供电（尽管有时也用来为其他外部元件供电），系统其他部分则通过外部的 1.8 V 至 3.8 V 电源供电。请注意，根据 USB 合规规格的要求，为 USB PHY 供电的电源电压范围必须介于 3.0 V 和 3.6 V 之间。

如果 VREGI 输入未使用，可能会处于悬空状态；设置弱内部下拉可确保该引脚保持接地。

下图未显示与 USB 无关的旁路电容器。



Note: Rev B 之前的 EFM32GG11 设备要求 USB_DP 和 USB_DM 上为零串联电阻。

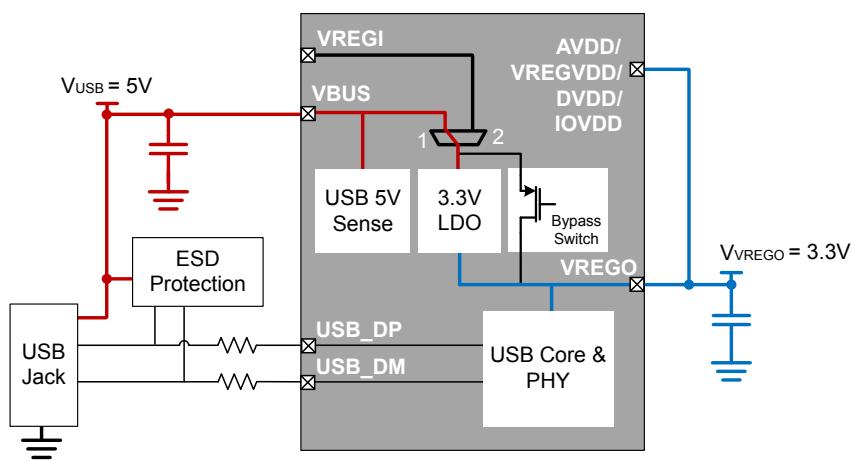
Figure 6.1. 自供电 USB 应用

6.2 USB 总线供电

典型的 EFM32 系列 1 USB 总线供电设备配置如 [Figure 6.2 总线供电 USB 应用 on page 25](#) 所示。在该配置中，内部的 3.3 V LDO 连接至 USB 5 V 电源并为 USB PHY 和 EFM32 系列 1 提供 3.3 V 的电压。此稳压器输出 (VREGO) 还可以用来为系统的其他元件供电。请注意，根据 USB 合规规格的要求，为 USB PHY 供电的电源电压范围必须介于 3.0 V 和 3.6 V 之间。

如果 VREGI 输入未使用，可能会处于悬空状态；设置弱内部下拉可确保该引脚保持接地。

下图未显示与 USB 无关的旁路电容器。



Note: Rev B 之前的 EFM32GG11 设备要求 USB_DP 和 USB_DM 上为零串联电阻。

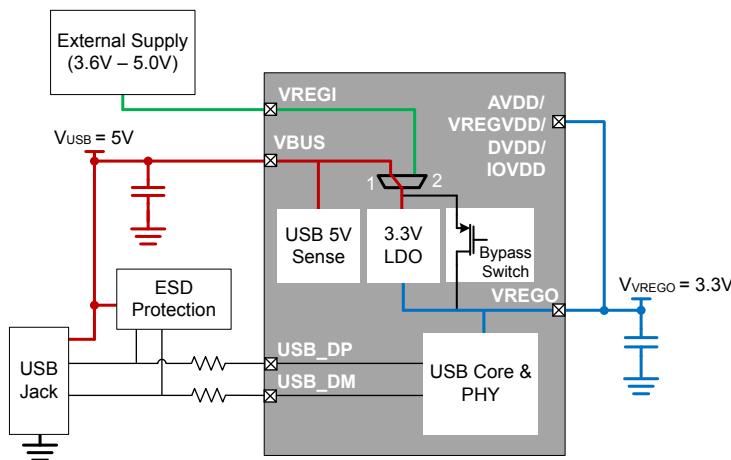
Figure 6.2. 总线供电 USB 应用

6.3 USB 双供电

双供电 USB 配置如 [Figure 6.3 双供电 USB 应用 on page 25](#) 所示。该配置有助于延长电池供电设备的使用寿命，其原理是电池供电或外部供电设备连接 USB 主机后，可以切换为由 USB 5 V 电源供电。内部开关让 3.3 V LDO 输入在 VREGI 引脚上的电池（或其他外部电源）和 VBUS 引脚上的 USB 5 V 电源之间实现无缝切换。

通常来说，固件将配置 3.3 V LDO，使其由两种电源输入（VREGI 或 VBUS）中的较高者进行供电。如果 VREGI 和 VBUS 输入未被使用或连接，将通过弱内部下拉电阻接地。

下图未显示与 USB 无关的旁路电容器。



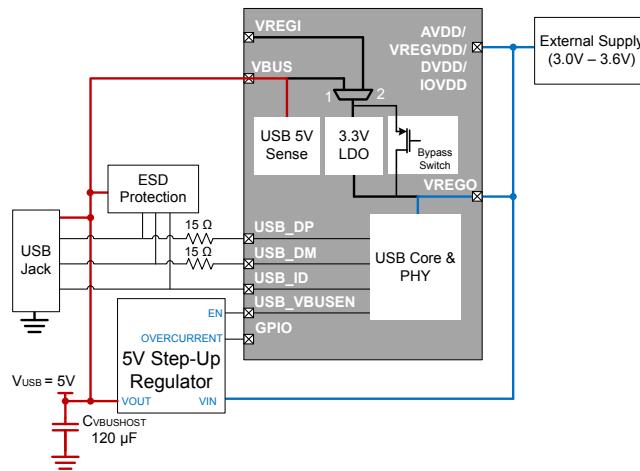
Note: Rev B 之前的 EFM32GG11 设备要求 USB_DP 和 USB_DM 上为零串联电阻。

Figure 6.3. 双供电 USB 应用

6.4 USB 主机

使用 5 V 外部升压型稳压器的典型 EFM32 系列 1 主机配置如 Figure 6.4 主机 USB 应用 on page 26 所示。在该配置中，内部 3.3 V LDO 未被使用，VREGO 引脚直接由外部的 3.0 V 至 3.6 V 电源驱动。VREGI 输入处于悬空状态；弱内部下拉电阻可确保该引脚保持接地。VBUS 输入仍然用于检测 5 V 电源。

在主机模式中，USB 5 V 的最小去耦电容为 120 μ F。下图未显示与 USB 无关的旁路电容器。



Note: Rev B 之前的 EFM32GG11 设备要求 USB_DP 和 USB_DM 上为零串联电阻。

Figure 6.4. 主机 USB 应用

7. 备用电源域

7.1 概述

EFM32 系列 1 Giant Gecko 和 Tiny Gecko 设备可由备用电池提供部分电源。这些设备有一个专用电源域，用于 RTCC 及其 128 字节的保留寄存器以及 CRYOTIMER，在干线电源失效时可保留。发生这种情况时，系统会进入等同于 EM4 休眠的低能耗模式，并且会自动切换至备用电源。

Note: 必须始终遵守 [2.3 电源要求](#) 中描述的电源关系要求。这意味着在干线电源 (VREGVDD/AVDD) 失效时，这些电源关系必须保持有效。如在所有情况下， $AVDD \geq IOVDD$ 。

7.2 连接

备用电源域接口包括三个引脚。BU_VIN 直接与备用电源相连，是运行时必需的唯一一个引脚。BU_VOUT 可通过备用电源为外部设备供电；而 BU_STAT 在备用模式下接到 BU_VIN，在其他情况下接到地面。

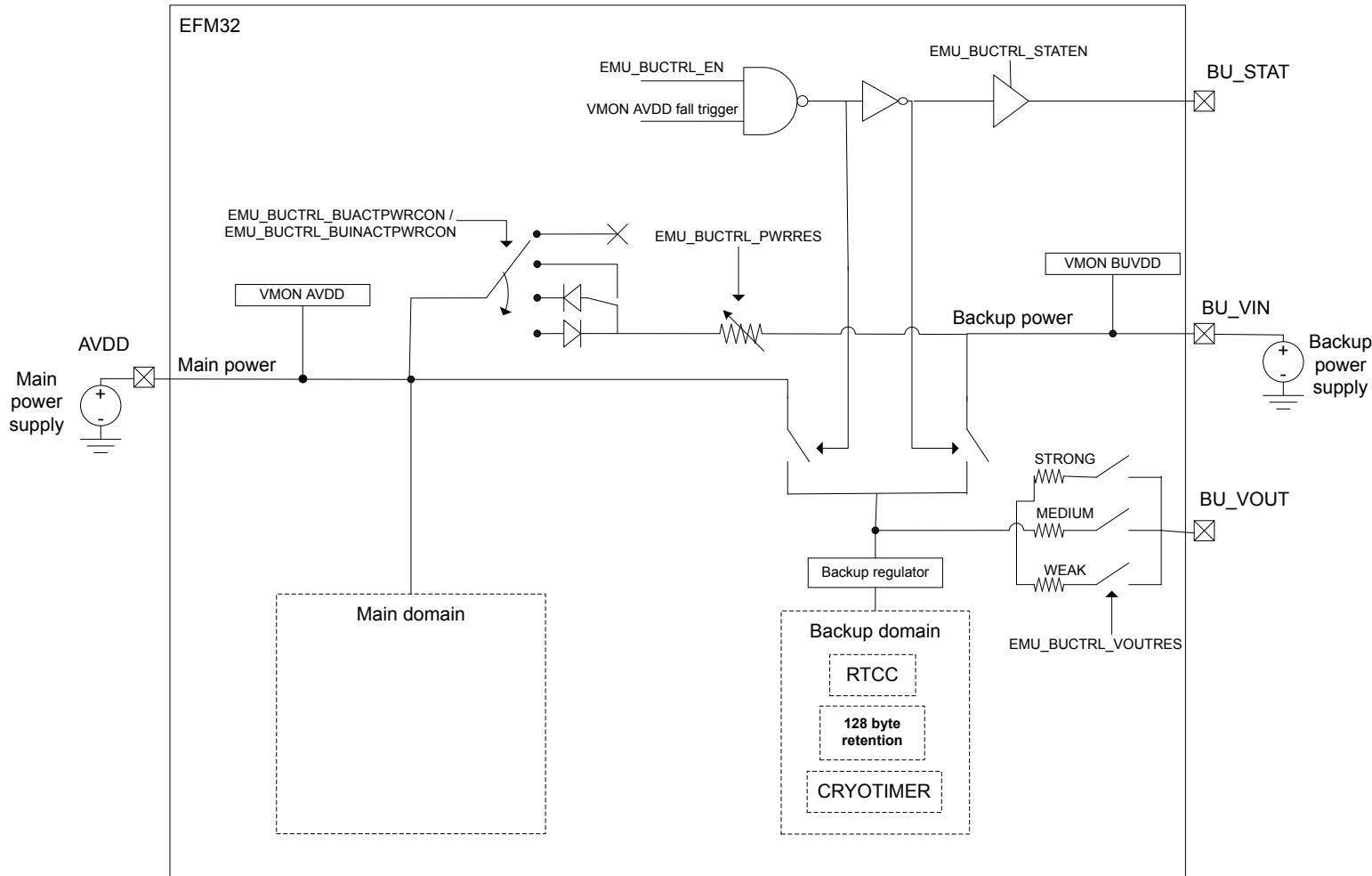


Figure 7.1. 备用电源域

Note: 所有三个引脚均与 GPIO 和外围设备功能共享，并且每个引脚必须按以下配置进行正确备份域操作：

- 通过其模式寄存器 (GPIO_PX_MODEL/GPIO_PX_MODEH) 禁用
- GPIO_PX_DOUT 中的输出设置为 0（如果设置，即使已禁用，引脚也会被上拉）
- 通过在 GPIO_PX_PINLOCKN 中设置其各自的位来锁定

备用电源输入的允许来源包括输出电压范围与设备允许范围一致的电池和超级电容器。可通过干线电源对备用电源进行充电。当干线电源失效时，低电流外部电路也可与 BU_VOUT 引脚连接并由备用电源和芯片上备用域供电。

Note: 使用该功能时，此类电路不得连接系统的其他部分或应与系统的其他部分保持电气隔离。不遵守此要求会导致使用一定程度的备用电源以及快速消耗备用电源。

8. 版本历史

修订版 1.55

2021 年 1 月

- 更新了应用说明参考。

修订版 1.54

2020 年 6 月

- 添加了 EFM32GG12。
- 更正了 [5.2.2 低频外部时钟](#) 和 [5.3.2 高频外部时钟](#) 中正弦波振荡器输入所需的振幅。

修订版 1.53

2019 年 12 月

- 已在 [4.1 串行线调试](#) 和 [4.2 JTAG 调试](#) 中添加了对 AN958 的引用。
- 更正了整个文档中的细微排印错误。

修订版 1.52

2018 年 8 月

- 将 USB_DP 和 USB_DM 的串联电阻更新为 33 欧姆，EFM32GG11 rev A/X（要求零欧姆）除外。

修订版 1.51

2018 年 5 月

- 阐明了 PAVDD 引脚只是 2.4 GHz 功率放大器的电源输入（对于 1 GHz 以下，功率放大器为外部供电）。

修订版 1.50

2018 年 1 月

- 删除了 EFM32JG13 和 EFM32PG13 的兼容性部分。
- 修改了关于去耦电容器的注意事项，以反映 EFM32PG1 入门套件的使用和后续的 EFM32 系列 1 设备入门套件的对比。

修订版 1.49

2017 年 9 月

- 增加了关于 EFR32xG14 的参考。
- 增加了关于 EFM32TG11 的参考。
- 增加了“备用域”章节。
- 改写了 [高频率外部时钟](#) 章节，以体现 EFM32xG1 和 EFR32xG1 和系列 1 后续产品之间的差异。

修订版 1.48

2017 年 6 月

- 增加了对 EFM32GG11 的引用。
- 添加了 VBUS 到电源引脚概览。
- 分别将 USB_VREGO 和 USB_VREGI 更名为 VREGO 和 VREGI。
- 增加了 [USB](#) 章节。

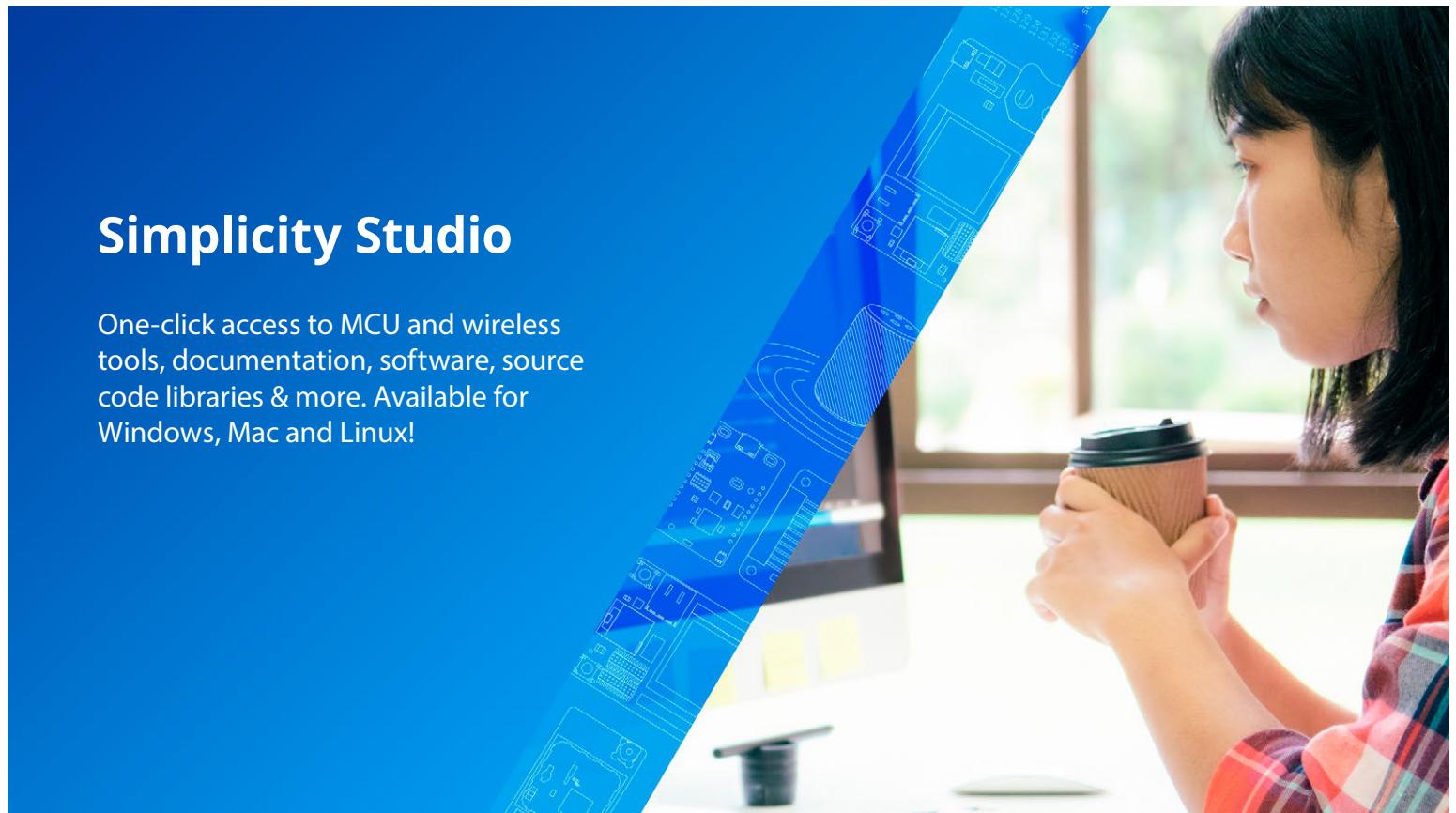
修订版 1.47

2017 年 1 月

- 根据产品系列的不同，将应用说明分成多个应用说明。
- EFM32xG11/12 和 EFR32xG12/13/14 设备的更新内容。
- 默认的 DCDC 输出电容器由 1.0 uF 变为 4.7 uF。
- 添加了说明，建议系统设计者检查稳压器和 DC-DC 输出电容器在温度特征下的电容。

Simplicity Studio

One-click access to MCU and wireless tools, documentation, software, source code libraries & more. Available for Windows, Mac and Linux!



IoT Portfolio

www.silabs.com/IoT



SW/HW

www.silabs.com/simplicity



Quality

www.silabs.com/quality



Support & Community

www.silabs.com/community

Disclaimer

Silicon Labs intends to provide customers with the latest, accurate, and in-depth documentation of all peripherals and modules available for system and software implementers using or intending to use the Silicon Labs products. Characterization data, available modules and peripherals, memory sizes and memory addresses refer to each specific device, and "Typical" parameters provided can and do vary in different applications. Application examples described herein are for illustrative purposes only. Silicon Labs reserves the right to make changes without further notice to the product information, specifications, and descriptions herein, and does not give warranties as to the accuracy or completeness of the included information. Without prior notification, Silicon Labs may update product firmware during the manufacturing process for security or reliability reasons. Such changes will not alter the specifications or the performance of the product. Silicon Labs shall have no liability for the consequences of use of the information supplied in this document. This document does not imply or expressly grant any license to design or fabricate any integrated circuits. The products are not designed or authorized to be used within any FDA Class III devices, applications for which FDA premarket approval is required, or Life Support Systems without the specific written consent of Silicon Labs. A "Life Support System" is any product or system intended to support or sustain life and/or health, which, if it fails, can be reasonably expected to result in significant personal injury or death. Silicon Labs products are not designed or authorized for military applications. Silicon Labs products shall under no circumstances be used in weapons of mass destruction including (but not limited to) nuclear, biological or chemical weapons, or missiles capable of delivering such weapons. Silicon Labs disclaims all express and implied warranties and shall not be responsible or liable for any injuries or damages related to use of a Silicon Labs product in such unauthorized applications.

Trademark Information

Silicon Laboratories Inc.®, Silicon Laboratories®, Silicon Labs®, SiLabs® and the Silicon Labs logo®, Bluegiga®, Bluegiga Logo®, ClockBuilder®, CMEMS®, DSPLL®, EFM®, EFM32®, EFR, Ember®, Energy Micro, Energy Micro logo and combinations thereof, "the world's most energy friendly microcontrollers", Ember®, EZLink®, EZRadio®, EZRadioPRO®, Gecko®, Gecko OS, Gecko OS Studio, ISOmodem®, Precision32®, ProSLIC®, Simplicity Studio®, SiPHY®, Telegesis, the Telegesis Logo®, USBXpress®, Zentri, the Zentri logo and Zentri DMS, Z-Wave®, and others are trademarks or registered trademarks of Silicon Labs. ARM, CORTEX, Cortex-M3 and THUMB are trademarks or registered trademarks of ARM Holdings. Keil is a registered trademark of ARM Limited. Wi-Fi is a registered trademark of the Wi-Fi Alliance. All other products or brand names mentioned herein are trademarks of their respective holders.